

O Plano Expansivo e a Anatomia de Singularidades

Uma conjectura geométrica sobre expansão,
dimensionalidade e percepção do espaço-tempo

Thiago da Silva Ventura

28 de maio de 2026

Sumário

1	O Plano Expansivo	6
1.1	A expansão como origem da dimensionalidade	6
1.2	O plano infinitesimal	13
1.2.1	Espaço-universo expansivo	13
1.2.2	Plano infinitesimal	13
2	Anatomia de Singularidades	17
2.1	Expansão heterogênea e percepção física	17
2.2	Singularidades como fronteiras assintóticas	23
2.3	Singularidades ocas	24
3	Conexões contemporâneas	27
4	Discussões matemáticas preliminares	28
	Referências	31

Diferentemente dos modelos tradicionais da cosmologia, onde espaço, tempo e dimensionalidade são tratados como propriedades fundamentais do universo, a presente conjectura propõe que tais propriedades emergem de relações expansivas entre unidades geométricas elementares.

O modelo parte de um princípio central:

Toda percepção de expansão, contração ou estabilidade depende da escala de medida utilizada pelo observador.

Assim, um universo em expansão homogênea absoluta seria indistinguível de um universo estático para observadores internos, uma vez que todas as unidades de medida também sofreriam expansão proporcional.

Essa ideia possui paralelos conceituais com a Relatividade Geral, especialmente na forma como medidas de espaço e tempo dependem do referencial do observador e da geometria local do espaço-tempo.

A Relatividade Geral descreve a geometria do espaço-tempo através das equações de campo:

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu} \quad (1)$$

onde:

- $G_{\mu\nu}$ representa a curvatura do espaço-tempo;
- Λ representa a constante cosmológica;
- $g_{\mu\nu}$ representa a métrica do espaço-tempo;
- $T_{\mu\nu}$ representa o tensor energia-momento.

Na cosmologia moderna, a expansão do universo é descrita pelo fator de escala cosmológico $a(t)$:

$$d(t) = a(t)d_0 \quad (2)$$

onde:

- d_0 representa uma distância inicial;
- $d(t)$ representa a distância observada ao longo do tempo cosmológico.

Entretanto, a conjectura aqui apresentada propõe uma extensão interpretativa deste conceito: não apenas as distâncias expandem, mas as próprias unidades geométricas fundamentais poderiam sofrer deformações heterogêneas dependendo da região do espaço-tempo observada.

Essa interpretação busca explicar por que determinados fenômenos cosmológicos aparentam possuir escalas temporais incompatíveis com os modelos tradicionais de evolução estrutural do universo.

Nos últimos anos, observações realizadas pelo telescópio espacial James Webb Space Telescope (JWST) revelaram estruturas extremamente desenvolvidas em épocas muito primitivas da história cosmológica, levantando questionamentos importantes sobre a velocidade de formação de galáxias, estrelas e singularidades gravitacionais massivas.

Entre as observações mais relevantes destacam-se:

- galáxias estruturalmente maduras formadas apenas algumas centenas de milhões de anos após o Big Bang;
- detecção de buracos negros supermassivos cuja massa ultrapassa bilhões de massas solares em épocas extremamente precoces do universo observável;
- estruturas cosmológicas cuja organização gravitacional aparenta exigir tempos evolutivos maiores do que os previstos pelos modelos cosmológicos tradicionais;
- observações de quasares primordiais extremamente luminosos associados a núcleos ativos já plenamente desenvolvidos.

Um dos exemplos mais relevantes foi a observação do quasar primordial denominado QSO1, cuja luz sofreu efeito de lente gravitacional provocado pelo aglomerado galáctico Abell 2744, conhecido como “Aglomerado de Pandora”.

O efeito de lente gravitacional ocorre quando grandes concentrações de massa deformam a geometria do espaço-tempo, desviando trajetórias luminosas conforme previsto pela Relatividade Geral:

$$\alpha = \frac{4GM}{c^2 b} \quad (3)$$

onde:

- α representa o ângulo de deflexão gravitacional;
- G representa a constante gravitacional;

- M representa a massa do corpo responsável pela curvatura;
- c representa a velocidade da luz;
- b representa o parâmetro de impacto da trajetória luminosa.

Devido à intensa deformação gravitacional causada pelo aglomerado Abell 2744, o James Webb registrou múltiplas imagens do mesmo objeto cosmológico primordial, permitindo observar estruturas extremamente antigas com resolução sem precedentes.

Essas observações tornam-se particularmente relevantes para a conjectura do Plano Expansivo, pois sugerem que:

- estruturas gravitacionais massivas podem surgir muito antes do previsto;
- regiões primitivas do universo possivelmente evoluíam sob dinâmicas temporais distintas;
- a expansão cosmológica inicial pode não ter ocorrido de forma completamente homogênea.

Além disso, o JWST também detectou galáxias massivas com taxas intensas de formação estelar em períodos inferiores a 500 milhões de anos após o Big Bang, algo que desafia diretamente modelos tradicionais de acreção gravitacional gradual.

A taxa de expansão cosmológica é tradicionalmente descrita pelo parâmetro de Hubble:

$$H(t) = \frac{\dot{a}(t)}{a(t)} \quad (4)$$

onde:

- $a(t)$ representa o fator de escala cosmológico;
- $\dot{a}(t)$ representa sua derivada temporal;
- $H(t)$ representa a taxa instantânea de expansão do universo.

Na formulação tradicional da cosmologia, assume-se isotropia e homogeneidade em larga escala, conforme descrito pela métrica de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker (FLRW). Entretanto, as observações recentes levantam a possibilidade de que o universo primordial tenha apresentado regiões localmente anisotrópicas ou regimes temporais efetivos distintos.

Dentro da conjectura do Plano Expansivo, uma possível interpretação especulativa seria que:

o próprio fluxo temporal efetivo poderia variar conforme o estado geométrico expansivo local do espaço-tempo primordial.

Isso implicaria que determinadas regiões poderiam apresentar evolução estrutural acelerada sob referenciais internos específicos, permitindo a formação precoce de:

- galáxias massivas;
- aglomerados gravitacionais;
- quasares primordiais;
- buracos negros supermassivos.

Outra observação relevante envolve os chamados “Little Red Dots”, objetos extremamente compactos e avermelhados detectados pelo JWST, cuja natureza ainda permanece parcialmente indefinida. Algumas hipóteses sugerem que tais estruturas possam representar núcleos galácticos ativos extremamente antigos contendo singularidades supermassivas em crescimento acelerado.

A existência dessas estruturas reforça a possibilidade de que:

- o universo primordial tenha evoluído sob condições geométricas ainda não completamente compreendidas;
- efeitos de expansão heterogênea possam ter influenciado diretamente a formação estrutural inicial;
- singularidades gravitacionais possam possuir papel cosmológico mais fundamental do que o previsto pelos modelos tradicionais.

Nesse contexto, o Plano Expansivo propõe que espaço, tempo e dimensionalidade não seriam propriedades absolutamente estáticas, mas estados geométricos emergentes associados à dinâmica expansiva do próprio universo primordial.

Dentro da estrutura conceitual do Plano Expansivo, uma possível interpretação especulativa seria que regiões primordiais do universo poderiam apresentar diferentes regimes efetivos de expansão temporal e espacial.

A dilatação temporal relativística pode ser descrita pela equação:

$$\Delta t' = \Delta t \sqrt{1 - \frac{2GM}{rc^2}} \quad (5)$$

onde:

- $\Delta t'$ representa o tempo observado sob influência gravitacional;
- Δt representa o tempo em um referencial distante;
- G representa a constante gravitacional;
- M representa a massa do corpo;
- r representa a distância ao centro gravitacional;
- c representa a velocidade da luz.

A conjectura propõe que efeitos análogos poderiam existir não apenas em singularidades locais, mas também em estados cosmológicos primordiais, onde a geometria do espaço-tempo ainda estaria emergindo dinamicamente.

A partir desse axioma inicial, os documentos desenvolvem duas estruturas complementares:

- o **Plano Expansivo**, responsável pela emergência das dimensões e pela expansão do espaço-universo;
- e a **Anatomia de Singularidades**, que busca reinterpretar singularidades gravitacionais como regiões onde unidades espaciais e temporais tornam-se progressivamente deformadas em relação ao observador externo.

1 O Plano Expansivo

1.1 A expansão como origem da dimensionalidade

O Plano Expansivo propõe que dimensões não são propriedades estáticas do universo, mas estados geométricos emergentes associados ao próprio processo de expansão.

Nesse modelo geométrico, o espaço-tempo não é tratado como uma estrutura rígida e previamente definida, mas como um sistema expansivo dinâmico cuja própria dimensionalidade emerge progressivamente em função do estado expansivo local.

O plano expansivo pode ser representado por um gradil geométrico anisotrópico, no qual determinadas regiões sofrem deformações diferenciais ao longo de seus eixos estruturais. Nessas regiões, as unidades geométricas fundamentais tornam-se progressivamente comprimidas ou dilatadas conforme a direção observada.

Matematicamente, pode-se representar o gradiente expansivo local através de uma métrica dependente da posição:

$$ds^2 = g_{ij}(x, y, t) dx^i dx^j \quad (6)$$

onde:

- $g_{ij}(x, y, t)$ representa a métrica local do plano expansivo;
- x e y representam coordenadas espaciais;
- t representa o estado expansivo temporal.

No gradil expansivo, regiões próximas aos eixos centrais apresentam expansão aproximadamente homogênea:

$$\frac{\partial g_{xx}}{\partial x} \approx \frac{\partial g_{yy}}{\partial y} \quad (7)$$

Enquanto regiões periféricas apresentam deformações anisotrópicas:

$$\frac{\partial g_{xx}}{\partial x} \neq \frac{\partial g_{yy}}{\partial y} \quad (8)$$

Essa geometria produz um comportamento semelhante ao observado nos esboços matriciais do plano expansivo, onde:

- regiões centrais preservam proporcionalidade geométrica;
- regiões próximas às bordas apresentam compressões diferenciais;
- a densidade geométrica cresce conforme determinadas coordenadas tendem assintoticamente a regiões-limite.

O gradil expansivo pode ser interpretado como uma representação discreta simplificada de uma geometria métrica variável, onde a distância efetiva entre unidades fundamentais modifica-se conforme o estado expansivo local.

Define-se então uma função expansiva fundamental:

$$\Gamma(x, y, t) = \frac{\partial \Phi(x, y, t)}{\partial t} \quad (9)$$

onde:

- $\Gamma(x, y, t)$ representa a taxa expansiva local;

- $\Phi(x, y, t)$ representa o potencial geométrico expansivo do plano.

Nessa formulação, regiões diferentes do espaço-universo podem evoluir sob taxas expansivas distintas, produzindo:

- deformações métricas locais;
- anisotropias cosmológicas;
- gradientes temporais efetivos;
- curvaturas gravitacionais emergentes.

A dimensionalidade efetiva do espaço-tempo pode então ser tratada como uma propriedade emergente da dinâmica expansiva:

$$D_{\text{efetiva}} = D_0 + \int_{\Omega} \Gamma(x, y, t) d\Omega \quad (10)$$

onde:

- D_0 representa o estado dimensional mínimo;
- Ω representa a região geométrica analisada;
- $\Gamma(x, y, t)$ representa a densidade expansiva local.

Nessa interpretação, dimensões não surgem instantaneamente como propriedades absolutas do universo, mas emergem progressivamente conforme a geometria expansiva evolui.

Esse comportamento apresenta paralelos conceituais com abordagens modernas da gravidade quântica, especialmente modelos onde:

- a dimensionalidade efetiva varia em diferentes escalas energéticas;
- espaço e tempo emergem de estruturas geométricas mais fundamentais;
- a geometria do universo primordial não obedece necessariamente às métricas clássicas contínuas.

A expansão cosmológica tradicional pode ser descrita pela Equação de Friedmann:

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho - \frac{k}{a^2} + \frac{\Lambda}{3} \quad (11)$$

Entretanto, dentro do modelo expansivo, o fator de escala deixa de ser globalmente homogêneo e passa a depender localmente da geometria do gradil:

$$a \rightarrow a(x, y, t) \quad (12)$$

Isso implica que diferentes regiões do universo primordial poderiam apresentar:

- taxas distintas de evolução estrutural;
- regimes temporais efetivos diferentes;
- velocidades distintas de formação gravitacional;
- densidades dimensionais variáveis.

Sob essa interpretação, estruturas cosmológicas extremamente precoces observadas pelo James Webb Space Telescope poderiam representar regiões onde o gradiente expansivo local favoreceu processos acelerados de organização gravitacional.

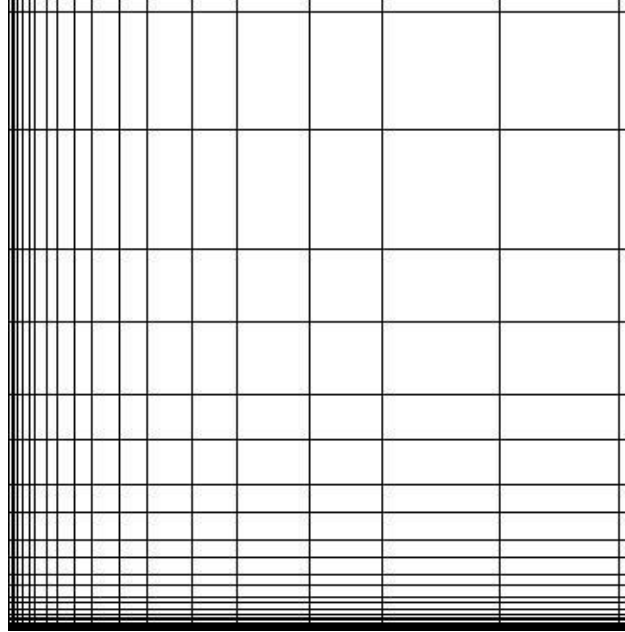


Figura 1: Representação esquemática do gradil do Plano Expansivo. Observa-se uma geometria anisotrópica onde diferentes regiões do espaço apresentam densidades métricas distintas. Próximo às regiões de compressão geométrica, as unidades fundamentais tornam-se progressivamente menores, produzindo aumento da densidade espacial efetiva e deformações locais da métrica do espaço-tempo. O modelo sugere que tais gradientes expansivos podem estar associados à emergência de curvaturas gravitacionais, regimes temporais distintos e formação precoce de estruturas cosmológicas massivas.

A própria geometria do gradil sugere que regiões próximas às zonas de compressão métrica tenderiam naturalmente à formação de:

- singularidades gravitacionais;
- regiões de alta densidade energética;
- curvaturas extremas do espaço-tempo;
- estruturas cosmológicas massivas em épocas primitivas.

A expansão cosmológica tradicional é descrita pela Equação de Friedmann:

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho - \frac{k}{a^2} + \frac{\Lambda}{3} \quad (13)$$

onde:

- $a(t)$ representa o fator de escala do universo;
- ρ representa a densidade de energia;
- k representa a curvatura espacial;
- Λ representa a constante cosmológica.

A formulação apresentada propõe uma extensão geométrica da dinâmica cosmológica tradicional, sugerindo que a expansão do universo não atua exclusivamente sobre distâncias métricas, mas também sobre a própria estrutura dimensional do espaço-tempo.

Essa interpretação encontra paralelos conceituais em diferentes abordagens contemporâneas da física teórica, especialmente em modelos de gravidade quântica, geometria emergente e dimensionalidade variável em altas escalas energéticas. Em diversas formulações modernas, espaço e tempo deixam de ser tratados como entidades fundamentalmente contínuas, passando a emergir de estruturas geométricas mais elementares.

Dentro dessa perspectiva, regiões centrais do gradil expansivo tenderiam a apresentar comportamento aproximadamente homogêneo:

$$\frac{\partial a}{\partial x} \approx \frac{\partial a}{\partial y} \quad (14)$$

enquanto regiões periféricas poderiam evoluir sob gradientes anisotrópicos:

$$\frac{\partial a}{\partial x} \neq \frac{\partial a}{\partial y} \quad (15)$$

Esse comportamento possui semelhanças matemáticas com soluções anisotrópicas das métricas cosmológicas de Bianchi, nas quais diferentes eixos espaciais evoluem sob taxas de expansão distintas:

$$ds^2 = -dt^2 + a_x^2(t) dx^2 + a_y^2(t) dy^2 + a_z^2(t) dz^2 \quad (16)$$

onde:

- $a_x(t)$, $a_y(t)$ e $a_z(t)$ representam fatores de escala independentes;
- diferentes direções espaciais podem sofrer expansão diferencial.

Em cosmologia moderna, pequenas anisotropias primordiais já são observadas empiricamente através das flutuações da Radiação Cósmica de Fundo (CMB), detectadas por missões como COBE, WMAP e Planck.

As variações de temperatura observadas no fundo cósmico podem ser expressas por:

$$\frac{\Delta T}{T} \sim 10^{-5} \quad (17)$$

indicando que o universo primordial não era perfeitamente homogêneo.

Dentro do modelo geométrico expansivo, tais anisotropias poderiam representar manifestações de gradientes locais de densidade métrica e expansão diferencial no universo primordial.

Sob essa interpretação:

- regiões geometricamente mais comprimidas tenderiam ao aumento da densidade energética local;
- gradientes expansivos poderiam induzir curvaturas gravitacionais;
- diferenças métricas locais poderiam influenciar diretamente o fluxo temporal efetivo;
- estruturas cosmológicas massivas poderiam emergir preferencialmente em regiões de compressão geométrica.

A curvatura do espaço-tempo permanece compatível com a formulação tensorial da Relatividade Geral:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu} \quad (18)$$

Entretanto, nessa formulação, o tensor métrico $g_{\mu\nu}$ deixa de representar apenas uma geometria contínua clássica, passando a refletir uma estrutura expansiva dinâmica cuja densidade geométrica pode variar localmente.

Essa abordagem aproxima-se conceitualmente de propostas modernas como:

- geometria emergente;
- causal dynamical triangulations;
- loop quantum gravity;
- holografia gravitacional;
- redução dimensional em altas energias;
- espaço-tempo discreto.

A dimensionalidade efetiva do espaço-tempo pode então ser descrita como função do estado expansivo local:

$$D_{\text{efetiva}} = f(\Gamma, \rho, E, t) \quad (19)$$

onde:

- Γ representa o gradiente expansivo local;
- ρ representa a densidade energética;
- E representa a escala energética;
- t representa o estado cosmológico temporal.

Sob essa estrutura matemática, espaço, tempo e dimensionalidade passam a ser interpretados como diferentes manifestações observáveis de um mesmo processo geométrico expansivo fundamental.

- regiões centrais expandem de forma aproximadamente homogênea;
- enquanto regiões periféricas tornam-se geometricamente excêntricas ou anisotrópicas.

Essa ideia estabelece uma possível relação entre:

- expansão;
- curvatura;
- dimensionalidade emergente.

Conceitualmente, essa hipótese aproxima-se de modelos contemporâneos de:

- dimensões emergentes;
- geometria não-euclidiana;
- teorias modernas de gravidade quântica.

1.2 O plano infinitesimal

O modelo divide a estrutura cosmológica em duas regiões geométricas fundamentais.

1.2.1 Espaço-universo expansivo

Região onde espaço, curvatura e dimensionalidade emergem dinamicamente a partir da evolução do gradil expansivo.

1.2.2 Plano infinitesimal

Região geométrica primordial associada a estados de compressão métrica extrema, onde múltiplas estruturas espaciais podem coexistir em escalas assintoticamente reduzidas.

O problema central introduzido por essa formulação consiste em compreender como uma estrutura geometricamente limitada pode conter graus arbitrariamente elevados de complexidade espacial.

Matematicamente, essa interpretação aproxima-se de estruturas fractais, variedades compactificadas e modelos geométricos onde a densidade de informação cresce mais rapidamente que o volume aparente da região observada.

Dentro dessa estrutura, o espaço-universo pode ser representado como um gradil matricial expansivo, onde cada elemento da matriz representa uma unidade geométrica fundamental do espaço-tempo.

Em seu estado mais elementar, o sistema pode ser descrito por uma matriz mínima:

$$M_{2 \times 2} = \begin{bmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} \\ \mu_{21} & \mu_{22} \end{bmatrix} \quad (20)$$

onde cada elemento μ_{ij} representa uma unidade geométrica fundamental associada ao estado métrico local do espaço.

À medida que o sistema evolui expansivamente, novas linhas e colunas podem emergir dinamicamente:

$$M_{2 \times 3} = \begin{bmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \mu_{13} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \mu_{23} \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$M_{2 \times 4} = \begin{bmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \mu_{13} & \mu_{14} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \mu_{23} & \mu_{24} \end{bmatrix} \quad (22)$$

ou ainda:

$$M_{3 \times 2} = \begin{bmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} \\ \mu_{21} & \mu_{22} \\ \mu_{31} & \mu_{32} \end{bmatrix} \quad (23)$$

$$M_{4 \times 2} = \begin{bmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} \\ \mu_{21} & \mu_{22} \\ \mu_{31} & \mu_{32} \\ \mu_{41} & \mu_{42} \end{bmatrix} \quad (24)$$

Em estados expansivos mais complexos, o crescimento matricial pode ocorrer simultaneamente em múltiplos eixos:

$$M_{3 \times 3} = \begin{bmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \mu_{13} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \mu_{23} \\ \mu_{31} & \mu_{32} & \mu_{33} \end{bmatrix} \quad (25)$$

$$M_{4 \times 4} = \begin{bmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \mu_{13} & \mu_{14} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \mu_{23} & \mu_{24} \\ \mu_{31} & \mu_{32} & \mu_{33} & \mu_{34} \\ \mu_{41} & \mu_{42} & \mu_{43} & \mu_{44} \end{bmatrix} \quad (26)$$

$$M_{N \times M} = \begin{bmatrix} \mu_{11} & \cdots & \mu_{1M} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{N1} & \cdots & \mu_{NM} \end{bmatrix} \quad (27)$$

Sob essa formulação, o aumento dimensional deixa de ser interpretado apenas como expansão métrica contínua, passando a representar crescimento estrutural do próprio espaço geométrico.

Define-se então uma função de crescimento dimensional:

$$D(t) = \dim(M_{N \times M}(t)) \quad (28)$$

onde:

- $D(t)$ representa a dimensionalidade efetiva do sistema;
- $M_{N \times M}(t)$ representa o estado matricial do gradil expansivo ao longo do tempo cosmológico.

O crescimento matricial pode ser descrito pela relação:

$$\frac{dM}{dt} = \Gamma(M, \rho, E) \quad (29)$$

onde:

- Γ representa o potencial expansivo geométrico;
- ρ representa a densidade energética local;
- E representa a escala energética do sistema.

Sob essa interpretação, dimensões emergem progressivamente conforme novos estados geométricos tornam-se acessíveis ao sistema expansivo.

Essa abordagem apresenta paralelos conceituais com:

- redes tensorais;
- geometria discreta;
- causal dynamical triangulations;
- spin networks da loop quantum gravity;
- estruturas holográficas emergentes;

- modelos de espaço-tempo discreto.

Em regimes de compressão extrema, o espaçamento efetivo entre elementos do gradil tende assintoticamente a valores infinitesimais:

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} N(\Delta x) \rightarrow \infty \quad (30)$$

onde:

- Δx representa a escala métrica local;
- $N(\Delta x)$ representa o número efetivo de unidades geométricas contidas na região analisada.

Isso implica que uma região geometricamente limitada pode conter quantidade arbitrariamente elevada de estrutura interna, aproximando-se conceitualmente de:

- compactificação dimensional;
- geometria fractal;
- singularidades métricas;
- princípios holográficos de densidade informacional.

Assim, o plano infinitesimal deixa de representar simplesmente um ponto geométrico singular, passando a comportar-se como uma região de densidade estrutural extrema, onde espaço, dimensionalidade e curvatura tornam-se progressivamente indistinguíveis.

Uma superfície infinitamente irregular poderia conter uma quantidade arbitrariamente grande de “espaço interno”, mesmo ocupando externamente uma área limitada.

Essa interpretação aproxima a conjectura de conceitos contemporâneos como:

- geometria fractal;
- princípio holográfico;
- compactificação dimensional;
- variedades hiperdimensionais.

2 Anatomia de Singularidades

2.1 Expansão heterogênea e percepção física

A segunda parte desta conjectura introduz um elemento fundamental:

A percepção da expansão depende da heterogeneidade das unidades espaciais.

Deste modo:

- diferentes regiões do espaço podem expandir em taxas diferentes;
- fazendo observadores perceberem expansão, contração ou distorção temporal de maneiras distintas.

Essa formulação pode ser representada geometricamente através de gradis matriciais locais submetidos a diferentes tensores expansivos.

Considere inicialmente um gradil homogêneo idealizado:

$$M_0 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (31)$$

Nesse estado, todas as unidades geométricas possuem densidade métrica equivalente, implicando isotropia espacial local.

Entretanto, sob expansão heterogênea, diferentes regiões passam a evoluir sob fatores expansivos distintos:

$$M(t) = \begin{bmatrix} a_{11}(t) & a_{12}(t) & a_{13}(t) \\ a_{21}(t) & a_{22}(t) & a_{23}(t) \\ a_{31}(t) & a_{32}(t) & a_{33}(t) \end{bmatrix} \quad (32)$$

onde cada elemento $a_{ij}(t)$ representa o estado expansivo local de uma unidade geométrica fundamental.

Se determinadas regiões expandem mais rapidamente:

$$a_{11}(t) < a_{22}(t) < a_{33}(t) \quad (33)$$

então a densidade geométrica efetiva torna-se espacialmente não uniforme.

Pode-se definir a densidade métrica local como:

$$\rho_{ij} = \frac{1}{a_{ij}(t)} \quad (34)$$

Assim:

- regiões de menor expansão apresentam maior densidade geométrica;
- regiões de maior expansão apresentam menor densidade métrica efetiva.

Essa distribuição produz gradientes espaciais capazes de induzir deformações locais da métrica do espaço-tempo.

A geometria efetiva do sistema pode então ser representada por um tensor métrico discreto:

$$g_{ij} = \begin{bmatrix} \rho_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \rho_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \rho_{33} \end{bmatrix} \quad (35)$$

Nesse modelo, a curvatura local emerge naturalmente das diferenças entre densidades geométricas adjacentes:

$$\Delta\rho = \rho_{i+1,j} - \rho_{ij} \quad (36)$$

Quando:

$$\Delta\rho \neq 0 \quad (37)$$

o gradil deixa de ser geometricamente plano, produzindo deformações métricas locais.

Essa estrutura apresenta paralelos matemáticos com:

- tensores de curvatura da Relatividade Geral;
- redes discretas de gravidade quântica;
- triangulações causais dinâmicas;
- modelos lattice de espaço-tempo discreto.

A percepção temporal local também torna-se dependente da densidade geométrica regional.

Define-se então um tempo efetivo local:

$$\tau_{ij} = \frac{t}{\rho_{ij}} \quad (38)$$

onde:

- τ_{ij} representa o tempo efetivamente percebido na região;
- t representa o tempo cosmológico global;
- ρ_{ij} representa a densidade geométrica local.

Sob essa formulação:

- regiões geometricamente mais densas apresentam dilatação temporal efetiva;
- regiões menos densas evoluem temporalmente de forma mais acelerada.

Isso produz um cenário onde diferentes regiões do universo primordial poderiam evoluir sob ritmos temporais distintos.

Considere, por exemplo, dois setores do gradil:

$$M_A = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.2 \\ 0.2 & 0.2 \end{bmatrix} \quad M_B = \begin{bmatrix} 2.0 & 2.0 \\ 2.0 & 2.0 \end{bmatrix} \quad (39)$$

No setor M_A , as unidades geométricas encontram-se comprimidas, produzindo alta densidade métrica:

$$\rho_A = \frac{1}{0.2} = 5 \quad (40)$$

Enquanto no setor M_B :

$$\rho_B = \frac{1}{2.0} = 0.5 \quad (41)$$

Consequentemente:

$$\tau_A < \tau_B \quad (42)$$

implicando ritmos temporais efetivos distintos entre regiões geometricamente diferentes.

Sob essa interpretação:

- regiões comprimidas tenderiam à formação gravitacional acelerada;

- regiões dilatadas apresentariam menor densidade estrutural;
- anisotropias expansivas poderiam induzir diferenças temporais cosmológicas;
- singularidades gravitacionais poderiam emergir como limites extremos de densidade geométrica.

Essa abordagem fornece uma possível estrutura matemática para interpretar:

- formação precoce de buracos negros supermassivos;
- crescimento acelerado de galáxias primitivas;
- anisotropias cosmológicas;
- regimes temporais efetivos distintos no universo primordial.

Em escalas extremas, o gradil pode aproximar-se de estados assintóticos onde:

$$\lim_{a_{ij} \rightarrow 0} \rho_{ij} \rightarrow \infty \quad (43)$$

produzindo regiões de compressão geométrica extrema compatíveis com singularidades gravitacionais ou estados de compactificação métrica do espaço-tempo.

Essa formulação pode ser representada geometricamente através de gradis matriciais locais submetidos a diferentes tensores expansivos.

Considere inicialmente um gradil homogêneo idealizado:

$$M_0 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (44)$$

Nesse estado, todas as unidades geométricas possuem densidade métrica equivalente, implicando isotropia espacial local.

Entretanto, sob expansão heterogênea, diferentes regiões passam a evoluir sob fatores expansivos distintos:

$$M(t) = \begin{bmatrix} a_{11}(t) & a_{12}(t) & a_{13}(t) \\ a_{21}(t) & a_{22}(t) & a_{23}(t) \\ a_{31}(t) & a_{32}(t) & a_{33}(t) \end{bmatrix} \quad (45)$$

onde cada elemento $a_{ij}(t)$ representa o estado expansivo local de uma unidade geométrica fundamental.

Se determinadas regiões expandem mais rapidamente:

$$a_{11}(t) < a_{22}(t) < a_{33}(t) \quad (46)$$

então a densidade geométrica efetiva torna-se espacialmente não uniforme. Pode-se definir a densidade métrica local como:

$$\rho_{ij} = \frac{1}{a_{ij}(t)} \quad (47)$$

Assim:

- regiões de menor expansão apresentam maior densidade geométrica;
- regiões de maior expansão apresentam menor densidade métrica efetiva.

Essa distribuição produz gradientes espaciais capazes de induzir deformações locais da métrica do espaço-tempo.

A geometria efetiva do sistema pode então ser representada por um tensor métrico discreto:

$$g_{ij} = \begin{bmatrix} \rho_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \rho_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \rho_{33} \end{bmatrix} \quad (48)$$

Nesse modelo, a curvatura local emerge naturalmente das diferenças entre densidades geométricas adjacentes:

$$\Delta\rho = \rho_{i+1,j} - \rho_{ij} \quad (49)$$

Quando:

$$\Delta\rho \neq 0 \quad (50)$$

o gradil deixa de ser geometricamente plano, produzindo deformações métricas locais.

Essa estrutura apresenta paralelos matemáticos com:

- tensores de curvatura da Relatividade Geral;
- redes discretas de gravidade quântica;
- triangulações causais dinâmicas;

- modelos lattice de espaço-tempo discreto.

A percepção temporal local também torna-se dependente da densidade geométrica regional.

Define-se então um tempo efetivo local:

$$\tau_{ij} = \frac{t}{\rho_{ij}} \quad (51)$$

onde:

- τ_{ij} representa o tempo efetivamente percebido na região;
- t representa o tempo cosmológico global;
- ρ_{ij} representa a densidade geométrica local.

Sob essa formulação:

- regiões geometricamente mais densas apresentam dilatação temporal efetiva;
- regiões menos densas evoluem temporalmente de forma mais acelerada.

Isso produz um cenário onde diferentes regiões do universo primordial poderiam evoluir sob ritmos temporais distintos.

Considere, por exemplo, dois setores do gradil:

$$M_A = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.2 \\ 0.2 & 0.2 \end{bmatrix} \quad M_B = \begin{bmatrix} 2.0 & 2.0 \\ 2.0 & 2.0 \end{bmatrix} \quad (52)$$

No setor M_A , as unidades geométricas encontram-se comprimidas, produzindo alta densidade métrica:

$$\rho_A = \frac{1}{0.2} = 5 \quad (53)$$

Enquanto no setor M_B :

$$\rho_B = \frac{1}{2.0} = 0.5 \quad (54)$$

Consequentemente:

$$\tau_A < \tau_B \quad (55)$$

implicando ritmos temporais efetivos distintos entre regiões geometricamente diferentes.

Sob essa interpretação:

- regiões comprimidas tenderiam à formação gravitacional acelerada;
- regiões dilatadas apresentariam menor densidade estrutural;
- anisotropias expansivas poderiam induzir diferenças temporais cosmológicas;
- singularidades gravitacionais poderiam emergir como limites extremos de densidade geométrica.

Essa abordagem fornece uma possível estrutura matemática para interpretar:

- formação precoce de buracos negros supermassivos;
- crescimento acelerado de galáxias primitivas;
- anisotropias cosmológicas;
- regimes temporais efetivos distintos no universo primordial.

Em escalas extremas, o gradil pode aproximar-se de estados assintóticos onde:

$$\lim_{a_{ij} \rightarrow 0} \rho_{ij} \rightarrow \infty \quad (56)$$

produzindo regiões de compressão geométrica extrema compatíveis com singularidades gravitacionais ou estados de compactificação métrica do espaço-tempo. Nesse contexto:

- espaço e tempo tornam-se propriedades inseparáveis;
- singularidades gravitacionais passam a ser interpretadas como regiões extremas de deformação métrica.

2.2 Singularidades como fronteiras assintóticas

Assim descrevemos singularidades não necessariamente como pontos físicos absolutos, mas como regiões-limite onde:

- unidades espaciais tornam-se progressivamente menores;
- o número de unidades necessárias para atravessar uma região tende ao infinito;

- o observador aproxima-se assintoticamente de uma fronteira que jamais alcança completamente.

Essa interpretação possui paralelos conceituais com:

- horizontes de eventos;
- dilatação temporal relativística;
- geometrias assintóticas da relatividade geral.

2.3 Singularidades ocas

Outra ideia conjectura propõe que singularidades poderiam possuir estruturas internas desacopladas do universo externo.

Segundo essa interpretação:

Outra geometria considerada consiste na possibilidade de que singularidades gravitacionais apresentem regiões internas dinamicamente desacopladas do espaço-tempo externo observável.

Assim, singularidades deixam de ser interpretadas exclusivamente como pontos de densidade infinita, passando a comportar-se como regiões-limite onde a própria estrutura métrica do espaço-tempo sofre transições geométricas extremas.

Sob determinadas condições críticas de compressão espacial e aceleração gravitacional, o sistema tenderia a aproximar-se de um regime assintótico no qual:

- a densidade geométrica local cresce rapidamente;
- a dilatação temporal torna-se dominante;
- trajetórias causais passam a sofrer deformações extremas;
- observadores externos deixam de possuir acesso causal efetivo às regiões internas.

A aceleração gravitacional clássica pode ser descrita por:

$$a(r) = \frac{GM}{r^2} \tag{57}$$

onde:

- $a(r)$ representa a aceleração gravitacional local;

- G representa a constante gravitacional;
- M representa a massa da singularidade;
- r representa a distância radial ao centro gravitacional.

Entretanto, em regimes relativísticos extremos, a geometria do espaço-tempo passa a ser dominada pela métrica de Schwarzschild:

$$ds^2 = - \left(1 - \frac{2GM}{rc^2}\right) c^2 dt^2 + \left(1 - \frac{2GM}{rc^2}\right)^{-1} dr^2 + r^2 d\Omega^2 \quad (58)$$

O raio crítico associado ao horizonte gravitacional é dado por:

$$r_s = \frac{2GM}{c^2} \quad (59)$$

Quando:

$$r \rightarrow r_s \quad (60)$$

a dilatação temporal tende assintoticamente ao infinito:

$$\Delta t' = \frac{\Delta t}{\sqrt{1 - \frac{2GM}{rc^2}}} \quad (61)$$

implicando que, para observadores externos, processos físicos próximos ao horizonte aparentam desacelerar indefinidamente.

Dentro dessa estrutura geométrica, essa condição pode ser reinterpretada como um regime onde o gradil expansivo sofre compressão métrica extrema.

Define-se então uma densidade geométrica radial:

$$\rho_g(r) = \frac{1}{1 - \frac{2GM}{rc^2}} \quad (62)$$

Assim:

$$\lim_{r \rightarrow r_s} \rho_g(r) \rightarrow \infty \quad (63)$$

Sob essa formulação, regiões próximas ao horizonte gravitacional tenderiam a apresentar:

- aumento extremo da densidade geométrica;
- contração efetiva das unidades espaciais;

- desacoplamento causal progressivo;
- reorganização métrica interna.

Podemos considerar ainda um regime crítico associado à aceleração causal máxima.

A velocidade de escape relativística é dada por:

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{r}} \quad (64)$$

Quando:

$$v_e \geq c \quad (65)$$

obtém-se:

$$r \leq \frac{2GM}{c^2} = r_s \quad (66)$$

indicando que nenhuma trajetória causal clássica pode escapar da região interna.

Entretanto, a formulação geométrica proposta interpreta essa condição não apenas como aprisionamento gravitacional, mas como possível ruptura estrutural entre diferentes domínios métricos do espaço-tempo.

Nesse regime, o fluxo causal externo tenderia assintoticamente à interrupção:

$$\lim_{r \rightarrow r_s} \frac{d\tau}{dt} \rightarrow 0 \quad (67)$$

onde:

- τ representa o tempo próprio interno;
- t representa o tempo do observador externo.

Isso implica que, sob referenciais externos, regiões internas tornam-se progressivamente inacessíveis temporalmente.

Dentro dessa interpretação, a singularidade pode comportar-se como uma fronteira geométrica entre diferentes regimes métricos.

O gradil expansivo interno poderia então reorganizar-se segundo novas condições geométricas:

$$M_{\text{interno}} \neq M_{\text{externo}} \quad (68)$$

permitindo que:

- estruturas internas evoluam causalmente desacopladas;
- novos regimes temporais emerjam;
- diferentes densidades dimensionais coexistam;
- domínios geométricos independentes sejam formados.

Essa estrutura matemática também aproxima-se conceitualmente de modelos onde singularidades não representam pontos físicos absolutos, mas transições geométricas entre diferentes estados métricos do espaço-tempo.

Sob essa formulação, regiões internas poderiam evoluir segundo dinâmicas próprias, potencialmente inacessíveis ao universo externo devido ao desacoplamento causal induzido pela compressão geométrica extrema do gradil expansivo.

3 Conexões contemporâneas

Observações recentes do universo primordial realizadas pelo James Webb Space Telescope revelaram:

- galáxias maduras em épocas extremamente antigas;
- buracos negros supermassivos precoces.

Essas observações desafiam modelos cosmológicos tradicionais, pois aparentemente não haveria tempo suficiente para o crescimento dessas estruturas.

Regimes primordiais do universo poderiam possuir escalas temporais efetivas diferentes das atuais.

Se espaço, tempo e dimensionalidade emergem conjuntamente da expansão heterogênea, então:

- regiões iniciais do universo poderiam apresentar dinâmicas temporais radicalmente distintas;
- permitindo crescimento estrutural acelerado sob referenciais internos específicos.

4 Discussões matemáticas preliminares

Uma possível formalização futura da conjectura exigiria ferramentas provenientes de diferentes áreas da matemática e da física teórica, incluindo:

- geometria diferencial;
- topologia;
- teoria tensorial;
- relatividade geral;
- geometria fractal;
- teoria holográfica;
- gravidade quântica.

Os resultados desenvolvidos ao longo deste trabalho sugerem uma possível estrutura geométrica capaz de conectar expansão cosmológica, anisotropias métricas, dimensionalidade emergente e regimes gravitacionais extremos dentro de uma mesma formulação conceitual.

A abordagem apresentada descreve o espaço-tempo como um sistema expansivo dinâmico, no qual propriedades tradicionalmente tratadas como fundamentais — tais como distância, dimensionalidade e fluxo temporal — passam a emergir da evolução geométrica local do gradil expansivo.

Dentro dessa estrutura, fenômenos associados à cosmologia primordial, à formação precoce de estruturas massivas e às singularidades gravitacionais podem ser reinterpretados como manifestações de gradientes expansivos heterogêneos e densidades métricas variáveis.

Os modelos matriciais introduzidos ao longo do trabalho fornecem uma representação geométrica simplificada para descrever:

- expansão diferencial do espaço-tempo;
- evolução dinâmica da dimensionalidade efetiva;
- regimes locais de compressão geométrica;
- transições métricas associadas a singularidades gravitacionais.

As formulações apresentadas mantêm compatibilidade conceitual com estruturas já estabelecidas da física moderna, incluindo:

- Relatividade Geral;
- cosmologia relativística;
- geometrias anisotrópicas;
- gravidade quântica;
- espaço-tempo discreto;
- holografia gravitacional;
- modelos emergentes de dimensionalidade variável.

Além disso, observações recentes obtidas pelo James Webb Space Telescope, envolvendo galáxias primitivas altamente desenvolvidas, quasares extremamente antigos e buracos negros supermassivos em épocas precoces do universo, reforçam a relevância de modelos capazes de descrever regimes cosmológicos não homogêneos durante os primeiros estágios da evolução universal.

Dentro dessa interpretação, a expansão cosmológica deixa de representar apenas o aumento uniforme das distâncias espaciais, passando a corresponder a um processo geométrico mais amplo, capaz de alterar localmente:

- densidades métricas;
- ritmos temporais efetivos;
- graus de liberdade dimensionais;
- propriedades causais do espaço-tempo.

Os resultados também sugerem que singularidades gravitacionais podem ser tratadas não apenas como limites matemáticos da Relatividade Geral, mas como possíveis transições geométricas entre diferentes regimes estruturais do espaço-tempo.

Sob essa perspectiva, horizontes gravitacionais extremos poderiam induzir desacoplamentos causais, reorganizações métricas internas e estados geométricos altamente compactificados, aproximando-se conceitualmente de modelos modernos envolvendo universos-bebê, estruturas holográficas e geometrias emergentes.

Embora diversas etapas matemáticas ainda exijam formalização rigorosa, a estrutura desenvolvida estabelece um arcabouço conceitual coerente para futuras extensões envolvendo:

- geometria diferencial;
- teoria tensorial;
- dinâmica de redes geométricas;
- modelos discretos de espaço-tempo;
- gravidade quântica;
- cosmologia primordial.

A formulação proposta sugere que espaço, tempo, dimensionalidade e gravidade possam representar manifestações distintas de uma única dinâmica geométrica expansiva fundamental, cuja evolução local determina a organização estrutural observável do universo.

“`latex`

Referências

Referências

- [1] EINSTEIN, Albert. *Die Feldgleichungen der Gravitation*. Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften, Berlin, p. 844–847, 1915.
- [2] EINSTEIN, Albert. *Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie*. Annalen der Physik, v. 49, n. 7, p. 769–822, 1916. DOI: doi:[10.1002/andp.19163540702](https://doi.org/10.1002/andp.19163540702).
- [3] SCHWARZSCHILD, Karl. *Über das Gravitationsfeld eines Massenpunktes nach der Einsteinschen Theorie*. Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften, Berlin, p. 189–196, 1916.
- [4] FRIEDMANN, Alexander. *Über die Krümmung des Raumes*. Zeitschrift für Physik, v. 10, p. 377–386, 1922. DOI: doi:[10.1007/BF01332580](https://doi.org/10.1007/BF01332580).
- [5] LEMAÎTRE, Georges. *Un univers homogène de masse constante et de rayon croissant*. Annales de la Société Scientifique de Bruxelles, v. 47, p. 49–59, 1927.
- [6] MATTHEE, Jorryt et al. *Little Red Dots: An Emerging Population in JWST Deep Fields*. The Astrophysical Journal Letters, v. 963, n. 1, L11, 2024. DOI: doi:[10.3847/2041-8213/ad1b65](https://doi.org/10.3847/2041-8213/ad1b65).